

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NA MICROESTRUTURA E DUREZA DO AÇO SAE1035 TRATADO TERMICAMENTE EM DIFERENTES TEMPOS E TEMPERATURAS¹

Cristiano Leite Barreiro²
Fagner Bertholdi Fraga³
Sandro Mauro de Carvalho⁴
Temístocles de Sousa Luz⁵

Resumo

É comum o uso do aço SAE 1035 em processos produtivos, assim, a soldagem de tais aços assume um importante papel no bom desempenho em campo. Após a soldagem, processos de tratamento térmico são estabelecidos para minimizar os efeitos térmicos. No entanto, tratamentos como o revenimento, em alguns aços, podem resultar em redução de tenacidade, fenômeno conhecido como conhecido por fragilização ao revenido. No intuito de avaliar tal fenômeno, foram avaliados dois grupos de amostras de aços SAE 1035 trefilado e laminado, com o objetivo de aprimorar os parâmetros de tratamento térmico pós-soldagem aumentando assim a eficiência do processo. Os grupos foram soldados pelo processo de soldagem por resistência topo a topo, e submetidos a diferentes temperaturas (500°C e 550°C) e tempos de tratamento térmico (60 segundos e 150 segundos), resfriadas ao ar. Foram realizados ensaios de tração, dureza, microscopia ótica e eletrônica de varredura. O estudo mostra que a temperatura de tratamento térmico influencia diretamente nas propriedades físicas das amostras estudadas.

Palavras-chave: Tratamento térmico; Aço SAE1035; Fragilização ao revenido; Soldagem por resistência.

EFFECT IN THE MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF A STEEL SAE 1035 HEAT TREATED IN DIFFERENT TIMES AND TEMPERATURES

Abstract

The steel type SAE 1035 is very applied in industrial process thereby the welding acts as an important agent in the performance these materials. Some post-weld heat treatments are established in order to minimize some undesired effects of these welds. However, these can result in a reduction in toughness that is known by tempering embrittlement, that results in more harmful than beneficial effects. On this basis, were evaluated two groups of drawn and rolled SAE 1035 steel samples, with the aim of improving the post-welding heat treatment parameters in order to increasing process efficiency. The samples were welded by up-set butt weld, and heat treated at different temperatures (500°C and 550°C) and times (60 seconds and 150 seconds), cooled in air. To evaluate the different heat treatments were carried out hardness measurement, tensile strength and optical microscopy. The study shows that the temperature and time of heat treatment has influence at the precipitates content, resulting in the variation at the mechanicals properties.

Key words: Heat treatment; SAE 1035 steel; Blue brittleness; Resistance butt welding.

¹ Contribuição técnica ao 67^o Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Graduando, Eng. Produção em Metalurgia e Materiais. Faculdade Centro Leste - UCL, ES, Brasil.

³ Eng^o Mecânico, Supervisor de Industrialização, Technip, ES, Brasil.

⁴ Eng^o Mecânico MSc., Prof. da Faculdade UCL e Coord. de Industrialização Technip, ES, Brasil.

⁵ Eng^o Mecânico, Professor Dr., UFES, ES, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Quando aços ao carbono e baixa-liga são revenidos por longos períodos ou resfriados lentamente através da faixa de temperaturas entre 400°C e 600°C,⁽¹⁾ estes apresentam uma tenacidade inferior aos aços revenidos por períodos normais ou resfriados rapidamente através desta faixa de temperatura (Figura 1). A causa deste fenômeno é creditada a precipitação de compostos contendo impurezas como P, Sb, As, Sn em conjunto com Mn e Cr.⁽¹⁻³⁾ Assim, quanto menor a concentração destas impurezas menores os efeitos na tenacidade. Aços submetidos a fragilização pelo revenido podem ter sua tenacidade restaurada pelo aquecimento até aproximadamente 600°C, manutenção por alguns minutos e resfriamento rápido. O tempo para a restauração da tenacidade depende do teor de elementos de liga e da temperatura do reaquecimento.^(4,5)

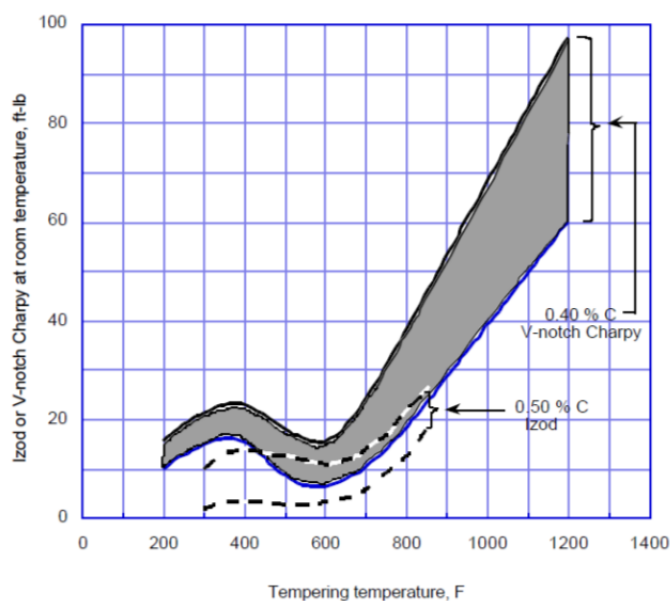


Figura 1. Evolução da tenacidade com a temperatura dos aços ao carbono.⁽²⁾

Durante a soldagem de alguma dessas ligas, como por exemplo o aço SAE 1035, o processo de revenimento é convencional em função da zona termicamente gerada. Principalmente em processos de alta produtividade como é o processo de soldagem por resistência. Tal processo é rápido e não requer muita manutenção e tornando-o propício para produção em série.^(6,7)

Tratamentos térmicos posteriores são realizados com a finalidade de homogeneizar a distribuição de dureza entre a junta soldada, a zona afetada termicamente e o metal de base, entretanto, tais tratamentos podem estimular a variação metalúrgica nessas zonas promovendo fenômenos como a fragilização ao revenido.⁽¹⁾

Com base nos dados citados, buscou-se analisar a influência dos diferentes tempos e temperaturas de tratamento térmico na microestrutura e propriedades mecânicas das amostras soldadas do aço SAE1035, trefilado e laminado, objetivando definir a melhor relação entre tratamento térmico e propriedades mecânicas de região pós soldada.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia para obtenção dos dados se baseou na comparação das informações originais dos corpos de prova sem tratamento térmico com os resultados dos testes realizados nos mesmos materiais tratados termicamente pós-soldagem por resistência topo a topo, tomando como base o trabalho de Fraga.⁽⁸⁾ A composição química encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química do material

COMPOSIÇÃO QUÍMICA						
%	C	Si	Mn	Al	S	P
Aço	0,360	0,195	0,850	0,027	0,015	0,016

O material em questão é utilizado sob a forma de fio (Figura 2), conformado pelo processo de trefilação a frio. Este é parte componente da armação de estrutura de tubos flexíveis.

As amostras foram soldadas em uma máquina automática de soldagem por resistência, na configuração topo a topo, com tratamento térmico de alívio de tensões posterior neste mesmo equipamento.

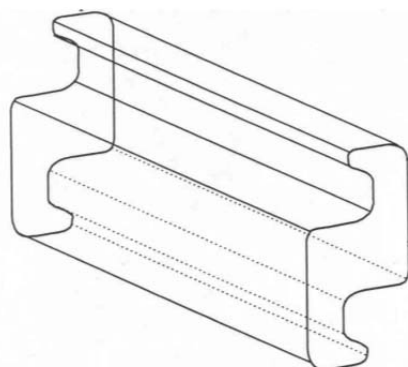


Figura 2. Aspecto final do fio após conformação.

Ao todo foram preparadas 30 amostras (Tabela 2). Os ensaios de tração foram realizados no equipamento do fabricante EMIC linha DL 3000.

Tabela 2. Número de amostras com e sem tratamento térmico

NÚMERO DE AMOSTRAS			
Tempo - Segundos	Temperatura		
	S/ Tratamento	500°C	550°C
0	6	-	-
60	-	6	6
150	-	6	6

As amostras foram preparadas para metalografia qualitativa e quantitativa através do *software* SVRNA System para avaliar o nível de inclusões (sem ataque químico) e microestrutura (com ataque químico). O reagente utilizado foi o nital 4%. O microscópio óptico utilizado foi o de modelo BX41M da marca Olympus. Para a análise de micrografia foram fotografadas as amostras cortadas no sentido transversal à região de rompimento no ensaio de tração que ocorreu.

Os ensaios de dureza foram realizados no equipamento de modelo M1C010 da marca Emcotest. Foi utilizado o ensaio de dureza Vickers com carga de 1 Kgf e as impressões foram realizadas conforme Figura 2.

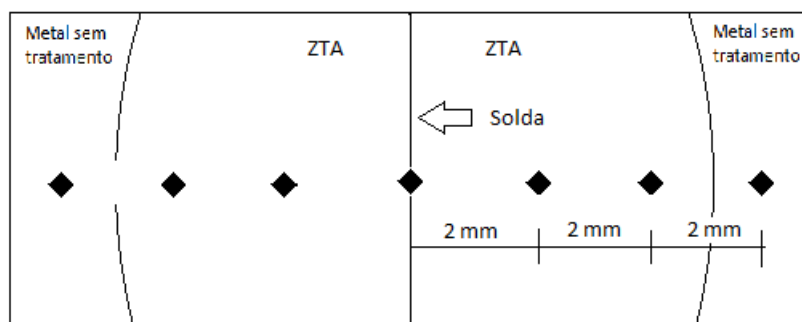


Figura 3. Esquema de disposição das impressões de dureza Vickers.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios de tração demonstraram a influência da temperatura e do tempo de tratamento térmico, como esperado as soldas sem tratamento térmico apresentaram uma maior resistência a tração. Nas soldas tratadas termicamente, foi observado que a variação do tempo para uma mesma temperatura tem uma influência maior sobre a resistência a tração do que o aumento da temperatura para o mesmo tempo de tratamento térmico (Figuras 4 e 5).

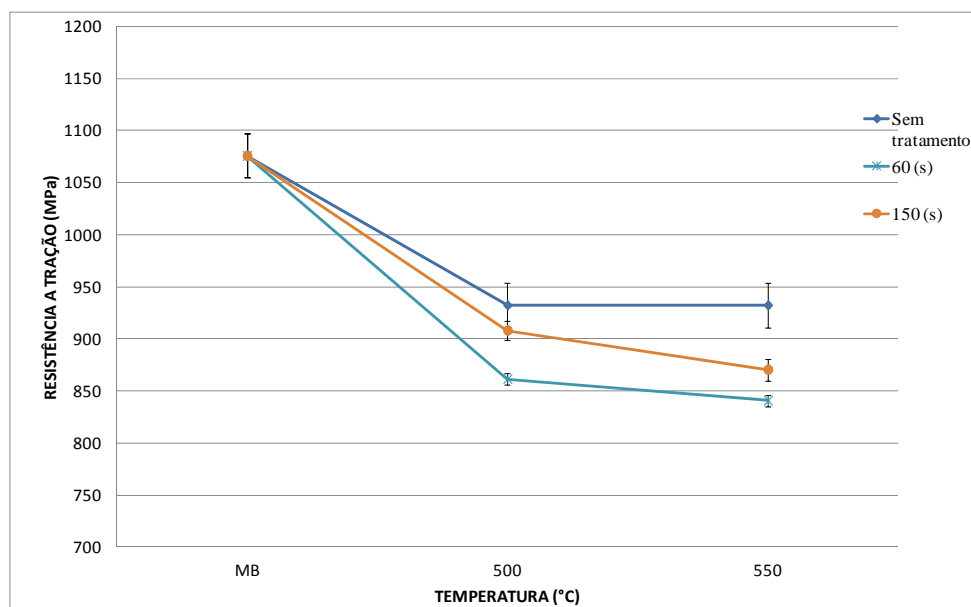


Figura 4. Resistência a tração em função da temperatura.

Para o tempo de tratamento térmico de 60 s, o aumento da temperatura não mostrou influência sobre o alongamento. No entanto, quando se modifica o tempo para 150 segundos é observada uma queda pronunciada do alongamento com o aumento da temperatura (Figura 6).

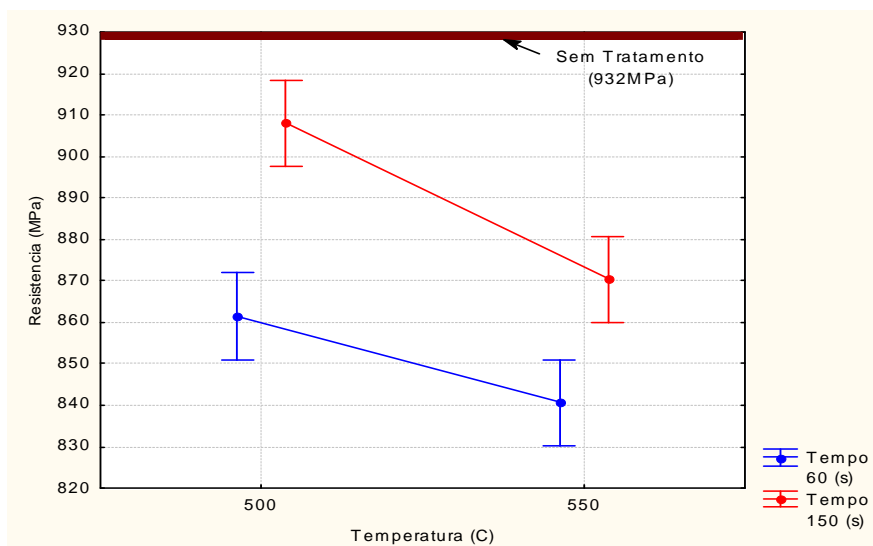


Figura 5. Variação da resistência a tração com a temperatura (Anova - nível de significância de 5%).

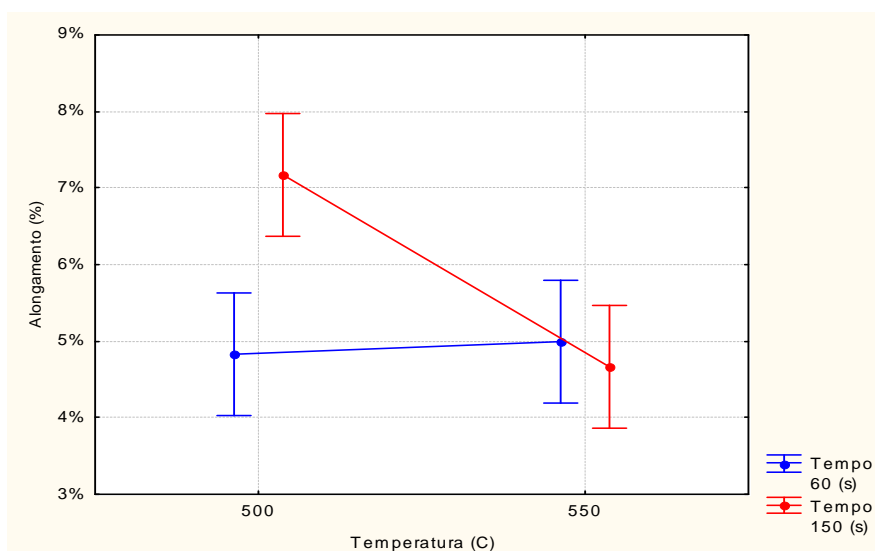


Figura 6. Variação do alongamento com a temperatura (Anova - nível de significância de 5%).

A fim de compreender a redução do alongamento com o aumento do tempo de tratamento térmico, foram realizadas análises metalográficas em amostras polidas sem ataque químico e verificado a fração volumétrica utilizando como ferramenta o programa SVRNA System (Tabela 3).

Através de uma análise estatística com os dados da Tabela 3, observou-se que para 500°C não houve mudança significativa no percentual de precipitados com o aumento do tempo de tratamento térmico (Figura 7). Essa ligeira diferença pode ser explicada devido à condição inicial das amostras com relação ao nível de precipitados antes do tratamento térmico, sendo essa variação inerente ao processo de fabricação deste aço. A 550°C o aumento do tempo de tratamento térmico pode ter resultado em um coalescimento dos precipitados inerentes ao material, resultando assim, num acréscimo de praticamente 100% na fração volumétrica de precipitados avaliados pela técnica (Figura 7). Segundo a literatura a precipitação aconteceria ao nível citado de temperatura (400°C a 600°C), todavia tal precipitação seria de ordem nanométrica, o que de antemão não seriam detectados por microscopia ótica.

Tabela 3. Fração volumétrica de precipitados em função do tratamento térmico

PORCENTAGEM DE PRECIPITADOS				
TEMPERATURA (°C)	TEMPO (s)	%	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
SEM TRATAMENTO	STT	0,9	1,00	±0,21
	STT	1,2		
	STT	0,8		
500	60	1,6	1,60	±0,04
	60	1,6		
	60	1,6		
500	150	1,2	1,22	±0,24
	150	1,5		
	150	1		
550	60	0,9	0,74	±0,10
	60	0,7		
	60	0,7		
550	150	1,5	1,46	±0,03
	150	1,5		
	150	1,5		

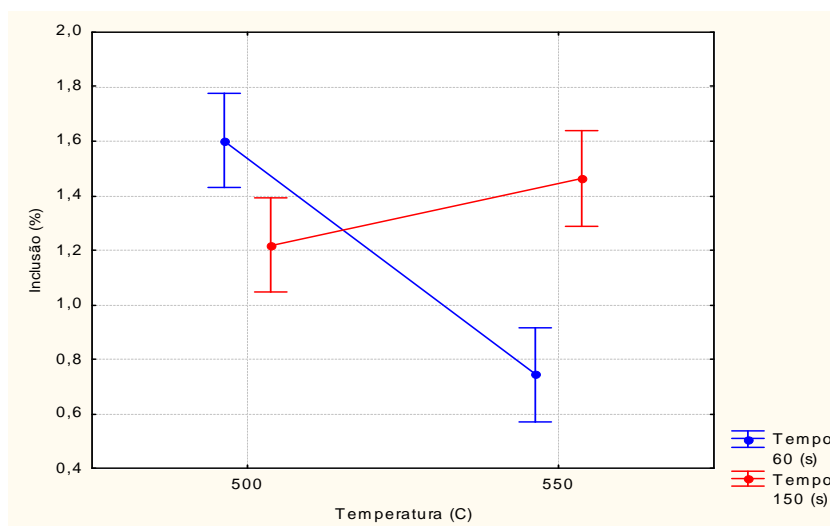


Figura 7. Variação percentual de precipitados em função da temperatura e tempo de tratamento térmico.

Logo, é possível que esse fenômeno de variação do nível de inclusões seja resultado de coalescimento com a temperatura.

Ambas as amostras apresentaram aumento no diâmetro médio dos precipitados com o aumento do tempo de tratamento térmico mantendo-se a temperatura, porém, as amostras tratadas a 550°C durante 150 segundos apresentaram um acréscimo significativo no diâmetro médio dos precipitados com relação às amostras tratadas no tempo de 60 segundos (Figuras 8 e 9).

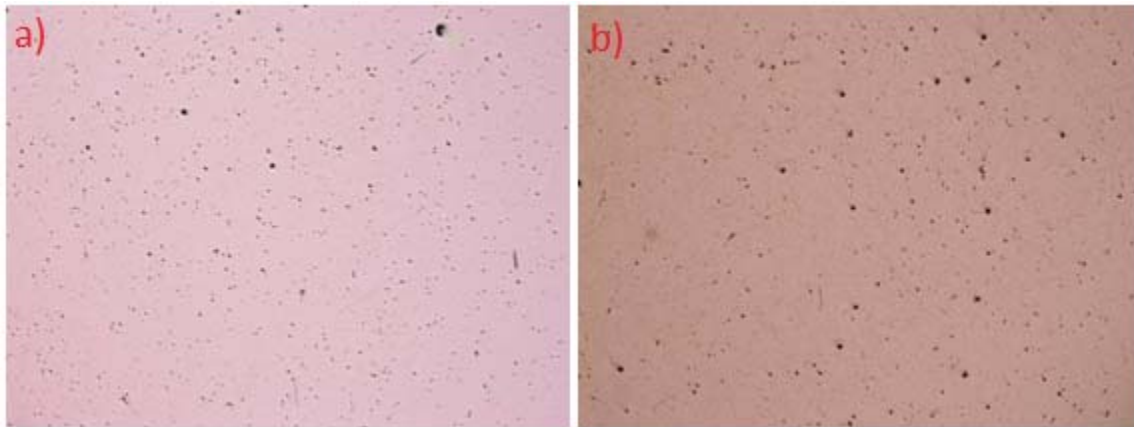


Figura 8. Micrografias no sentido transversal da região da ZTA na amostra com tratamento térmico a temperatura de 500°C durante (a) 60 segundos; e (b) 150 segundos, respectivamente (100 x).

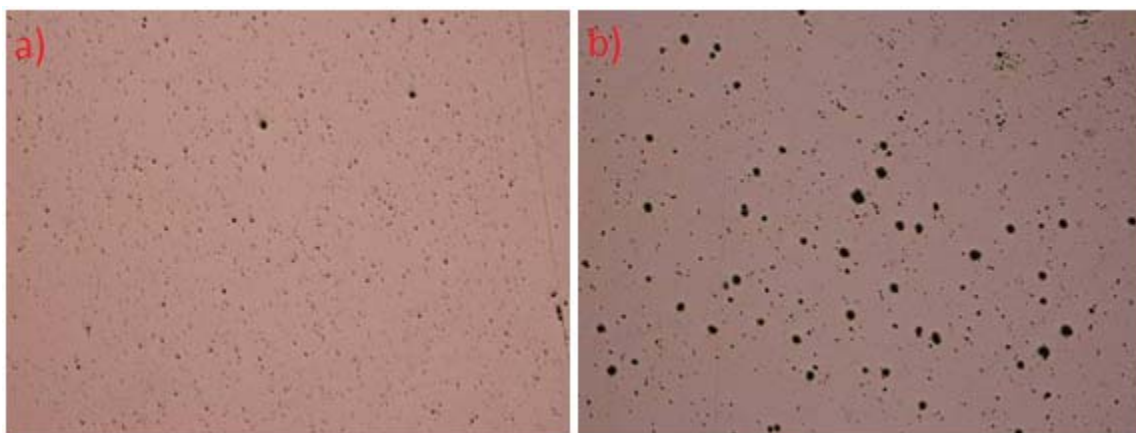


Figura 9. Micrografias no sentido transversal da região da ZTA na amostra com tratamento térmico a temperatura de 550°C durante (a) 60 segundos; e (b) 150 segundos, respectivamente (100 x).

A microestrutura das amostras sem tratamento térmico é constituída de perlita e ferrita, não sendo possível verificar via microscopia óptica, modificações na microestrutura (Figura 10).

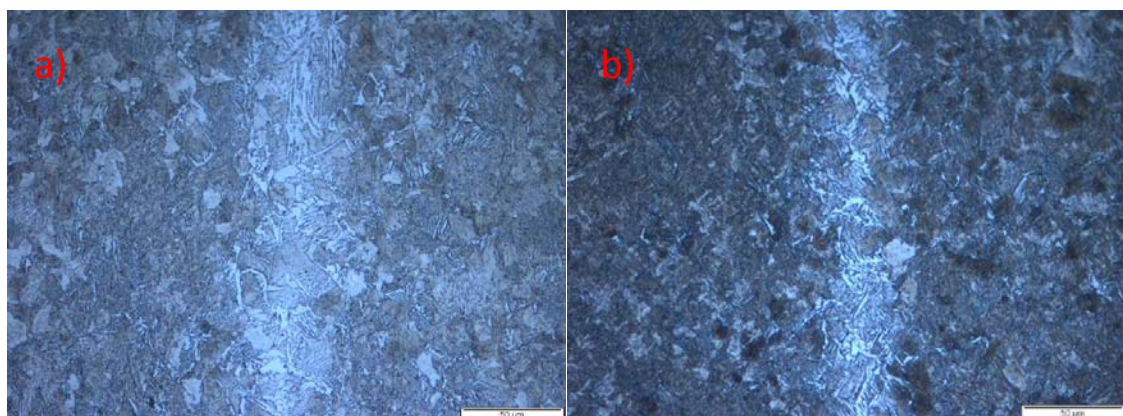


Figura 10. Micrografias a (500x; Escala 50 µm) da microestrutura das soldas tratadas a (a) 550°C durante 60 segundos; e (b) 550°C durante 150 segundos, respectivamente.

Os dados coletados no ensaio de dureza na solda e regiões próximas estão na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados do ensaio de dureza (HV30)

TABELA DE DUREZA								
Tratamento térmico	Média/Desvio	Valores						
		6mm	4mm	2mm	Solda	2mm	4mm	6mm
Sem Tratamento Térmico	Média	329,6	273,0	249,0	338,0	246,0	277,3	303,0
	Desvio	±10,3	±9,2	±3,0	±9,5	±13,4	±4,6	±53,1
500°C/60s	Média	327,6	314,3	233,3	287,3	239,3	297,3	340,3
	Desvio	±8,1	±6,1	±21,2	±3,2	±6,7	±8,1	±2,5
500°C/150s	Média	351,6	293,3	237,6	284,3	250,0	268,0	330,0
	Desvio	±22,5	±18,7	±9,0	±32,8	±11,4	±17,5	±8,7
550°C/60s	Média	309,6	298,0	234,6	264,3	238,6	291,0	311,3
	Desvio	±8,5	±3,6	±3,8	±4,0	±7,4	±7,5	±3,2
550°C/150s	Média	332,3	299,6	243,0	300,0	245,6	297,0	330,0
	Desvio	±20,4	±8,5	±2,0	±14,4	±11,6	±10,8	±17,3

De forma geral, à aplicação do tratamento térmico reduziu a dureza na solda das amostras tratadas termicamente (Tabela 4), porém, analisando os resultados, nota-se que as amostras submetidas à temperatura de 500°C a tempos de 60 segundos e 150 segundos não alteraram significativamente os valores de dureza, contudo, as amostras tratadas a 550°C por 60 segundos apresentam uma diminuição da dureza e quando durante 150 segundos, observa-se uma tendência ao aumento da dureza (Figura 11).

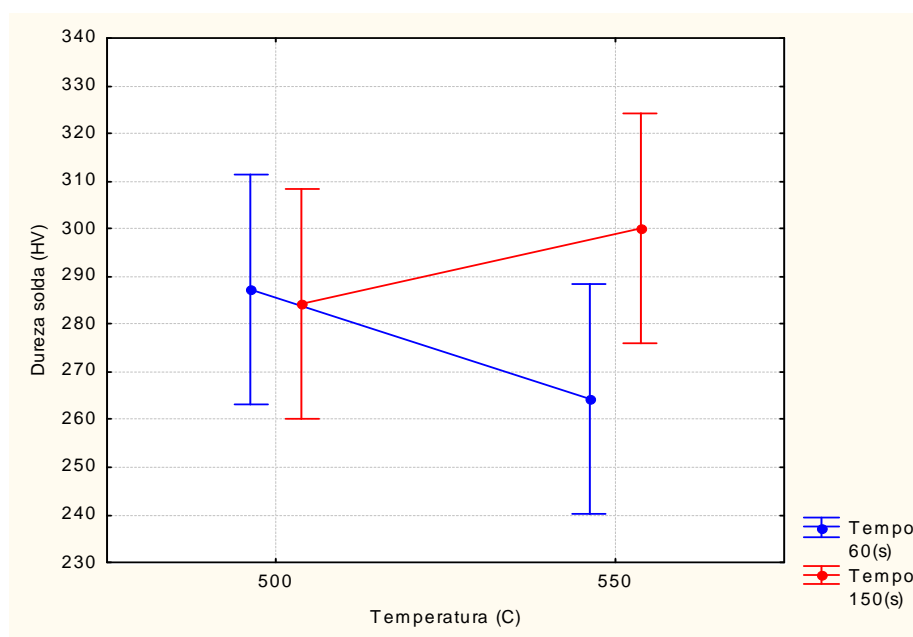


Figura 11. Influência do tratamento térmico na dureza do material.

Em face aos resultados obtidos, a variação da dureza e da resistência à tração estão coerentes com a fração volumétrica de precipitados. Isso implica em dizer que o fenômeno de fragilização pelo revenido pode estar ocorrendo nas amostras submetidas a temperatura de 550°C, sendo mais evidente em um tempo de exposição maior (150 s). Para fins de aplicações industriais é de boa prática acompanhar a variação do teor de precipitados em função do tempo e temperatura de tratamento térmico dos componentes metálicos a serem soldados.

4 CONCLUSÃO

- O tratamento térmico de um modo geral diminui a resistência à tração em comparação ao material como recebido;
- os menores índices de resistência mecânica aconteceram para menores tempos de tratamento térmico. Para tempos de tratamento térmico mais elevados, o efeito da temperatura se mostra significativo;
- o maior tempo de tratamento térmico apresentou um maior índice de precipitados; e
- a maior resistência mecânica em maiores tempos de tratamento se justificam pelo maior índice de precipitação.

REFERÊNCIAS

- 1 KRAUSS, G.: Steel: Heat Treatment and processing principles. ASM International, 1990.
- 2 RIBEIRO, L. P. P. G.: Caracterização das Propriedades Mecânicas do Aço SAE 4140 após Diferentes Tratamentos de Têmpera e Revenido. Dissertação, PUC, RJ, 2006.
- 3 ASM. Heat Treater's Guide: Practices and Procedures for Irons and Steels, 2nd Edition. ASM International, 1995.
- 4 P. ZUMPANO Jr, I. FERREIRA. "Tenacidade á Fratura na Zona Afetada pelo Calor de Aço 2,22Cr-1Mo". Revista Iberoamericana de Ingenieria mecânica. Vol 9, N°1, pp135-142, 2005.
- 5 SOUZA, G. A.: Caracterização microestrutural de um aço médio carbono e baixa liga (com estrutura bainítica/martensítica) via microscopia óptica – Monografia Universidade Estadual Paulista Guaratinguetá, SP, 2008.
- 6 E. WAINER, S. D. BRANDI e F. D. H. MELLO, Soldagem - Processos e Metalurgia. 2º ed. São Paulo, SP: Editora Edgard Blücher Ltda, 1992.
- 7 MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q.: Soldagem – Fundamentos e Tecnologia. 1º ed. Belo Horizonte, MG: Editora UFMG, 2005.
- 8 FRAGA, F. B.: Influência do tempo e temperatura de tratamento térmico de alívio de tensões do aço NF EM 10016 – Monografia UFES Vitória, ES, 2009.